Möhres, F. P. (1953): Jugendentwicklung des Orientierungsverhaltens bei Fledermäusen. Naturwiss. 40, 298–299.
Porter, F. L. (1979): Social behavior in the leaf-nosed-bat *Carollia perspicillata.* II. Social communication. Z. Tierpsychol. 50, 1–8.
Rother, G.; Schmidt, U. (1982): Der Einfluß visueller Information auf die Echoortung bei *Phyllostomus discolor* (Chiroptera). Z. Säugetierkunde 47, 324–334.
Schmidt, C.; Schmidt, U.; Manske, U. (1980): Observations of the behavior of orphaned juveniles in the common vampire bat *(Desmodus rotundus).* Proc. fifth international bat research conference. Lubbock: Texas Tech. Press. Pp. 105–111.
Schmidt, U.; Joermann, G.; Schmidt, C. (1982): Struktur und Variabilität der Verlassenheitslaute juveniler Vampirfledermäuse *(Desmodus rotundus).* Z. Säugetierkunde 47, 143–149.
Schmidt, U.; Manske, U. (1973): Die Jugendentwicklung der Vampirfledermäuse *(Desmodus rotundus).* Z. Säugetierkunde 38, 14–33.

Anschrift der Verfasser: Georg Rother und Prof. Dr. Uwe Schmidt, Zoologisches Institut, Universität Bonn, Poppelsdorfer Schloß, D-5300 Bonn

Mechanorezeptoren im Nasenaufsatz der Vampirfledermaus *Desmodus rotundus*

Von L. Kürten

Zoologisches Institut der Universtität Bonn

Eingang des Ms. 26. 11. 1984

Abstract

Mechanoreceptors in the nose-leaf of the vampire bat Desmodus rotundus

Studied was the anatomy and physiology of mechanoreceptors in the facial skin and the sinus hairs of the vampire bat *Desmodus rotundus.* The sinus hairs differ as well in anatomy as in their sensory outfit from those of other mammals. In the skin of the nose-leaf numerous mechanoreceptors can be found. Cutaneous and sinus hair receptors enable the bats to perceive even the slightest touch stimuli. The possible role of this touch sense, especially during the bat's search for prey, is discussed.

Einleitung

Die neotropische Familie der Blattnasen-Fledermäuse (Phyllostomatidae) besitzt auffällig gestaltete Nasenaufsätze, über deren Funktion sehr wenig bekannt ist. Nur bei der Vampirfledermaus *Desmodus rotundus* (Unterfamilie Desmodontinae) konnte dieser Region bislang eine sensorische Aufgabe zugeschrieben werden. Kürten und Schmidt (1982a, b) fanden, daß diese Fledermäuse sehr empfindlich auf Infrarotstrahlung reagieren und daß der Wärmesinn im Nasenaufsatz der Tiere lokalisiert ist. In elektrophysiologischen Versuchen wurden zahlreiche spezifische Warm- und Kaltrezeptoren nachgewiesen, die auf dem äußeren Rand und dem Mittelgrat des zentralen Nasenblattes konzentriert sind (Kürten et al. 1984).

Vampirfledermäuse ernähren sich ausschließlich vom Blut homoiothermer Wirbeltiere, so daß die Perzeption von Wärmestrahlung eine wichtige Hilfe bei der Annäherung an ein Beutetier und bei der Auswahl einer geeigneten Bißstelle darstellt. Darüber hinaus besitzt auch der Tastsinn im Gesichtsbereich eine wichtige Bedeutung für die Vampire, vor allem die Sinushaare auf den seitlichen Polstern und auf den Lippen. Schmidt (1978) vermutete,

U.S. Copyright Clearance Center Code Statement: 0044-3468/85/5001-0026 $ 02.50/0
Z. Säugetierkunde 50 (1985) 26–35
© 1985 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
ISSN 0044-3468 / InterCode: ZSAEA 7

daß die Tasthaare dazu dienen, Bewegungen des Beutetieres zu registrieren, während die Fledermaus an einer Wunde Blut leckt.

Über Rezeptoren, die für mechanische Reize empfindlich sind, liegt eine umfangreiche Literatur vor (siehe Diskussion). Die hier vorgestellten anatomischen und elektro-physiologischen Untersuchungen sollten klären, welche Mechanorezeptoren in der Haut und den Sinushaaren des Nasenaufsatzes von *Desmodus* auftreten und zur Beantwortung der Frage beitragen, welche sensorische Funktion diese auffällige Region besitzt.

Material und Methode

Anatomische Untersuchungen

Nasenaufsätze von Vampirfledermäusen wurden in Bouin'scher Lösung fixiert und sagittal auf einem Gefriermikrotom geschnitten (20 µm). Aus Serienschnitten konnte der Verlauf des Nervus infraorbitalis und die Innervation der Sinushaare rekonstruiert werden. Kleine Präparate aus einem Nasenaufsatz (1 mm Katenlänge) wurden in 2,5 %igem Glutaraldehyd (in 0,1 % Cacodylat-Puffer) fixiert, in 1 %igem Osmiumtetroxid kontrastiert und in Epon^R eingebettet. Auf einem Reichert-Mikrotom OmU3 stellte ich semidünne Schnitte her und untersuchte sie nach Anfärbung mit Azur II Methylenblau in einem Leitz-Dialux-Mikroskop. Ultradünne Schnitte wurden mit Bleicitrat nachkontrastiert und in einem Siemens-Elmiskop begutachtet.

Physiologische Untersuchungen

Die Anästhetisierung der Vampirfledermäuse erfolgte durch intraperitoneale Injektion von Hexobarbiton-Natrium (Evipan^R; 0,065 mg/g Körpergewicht). Im Abstand von ein bis zwei Stunden folgten weitere Dosen, mit denen die Tiere bis zu 15 Stunden in einer gleichbleibenden Narkose gehalten werden konnten. Nach Anlegen einer Trachealkanüle fixierte ich den Kopf in einer Einspannvorrichtung. Der Nervus infraorbitalis wurde rostral vom Foramen infraorbitale freigelegt und solange in feine Bündel zerlegt, bis die Aktionspotentiale einer einzelnen funktionstüchtigen Faser auf einer Platin-Elektrode abgeleitet werden konnten. Bei allen Präparationen war die Wunde mit Parafinöl bedeckt; ein ringförmiger Rand aus Xantopren^R verhinderte das Auslaufen der Flüssigkeit. Die Charakteristik der Rezeptoren wurde mit von Frey-Haaren unterschiedlicher Druckstärke getestet.

Ergebnisse

Morphologie

Der Nasenaufsatz von *Desmodus* gliedert sich in das zentrale Nasenblatt und drei Polster (2 laterale, 1 apikales), die durch grubenartige Vertiefungen voneinander getrennt sind (Abb. 1). Während im größten Teil des Nasenaufsatzes die Haut dicht mit Haaren und Drüsen besetzt ist, fehlen diese in den Nasengruben und in einer kleinen Zone um die Nasenlöcher. Auf den beiden seitlichen Polstern finden sich je 5 Sinushaare sowie je 10 auf jeder Seite der Oberlippe. Sie werden überwiegend von Fasern des Nervus infraorbitalis innerviert, nur die Sinushaare 1, 2 und 3 des seitlichen Polsters werden zusätzlich von Fasern des Nervus ophthalmicus versorgt (Abb. 2). Der Infraorbitalnerv verläßt den Schädel durch das Foramen orbitorotundum und zieht an der Innenseite der Augenhöhle nach rostral. Kurz vor Eintritt in das Jochbein teilt er sich in zwei Anteile auf, die getrennt den Knochen durchziehen und ihn am Foramen infraorbitale verlassen. Der ventrale Anteil zieht in den lateralen Teil der Oberlippe und gibt sukzessiv Fasern ab, die Sinushaare sowie die Haut und die Körperhaare dieser Region versorgen. Der dorsale Anteil, der aus fünf Bündeln besteht, teilt sich folgendermaßen auf: Das obere Bündel zieht zu vier Sinushaaren des seitlichen Polsters (1–4, Abb. 2). Die Bündel 2 und 3 teilen sich zunächst nicht weiter auf und ziehen dorsalwärts; Bündel 2 ist relativ schmal und innerviert das Sinushaar 5. Bündel drei ist dagegen sehr umfangreich und versorgt folgende Bereiche: den Boden der lateralen Grube, den Bereich des zentralen Nasenblattes oberhalb der Nasenlöcher, die

Abb. 1. Nasenaufsatz der Vampirfledermaus *Desmodus rotundus.* G = Grube; P = Polster; ZB = zentrales Nasenblatt

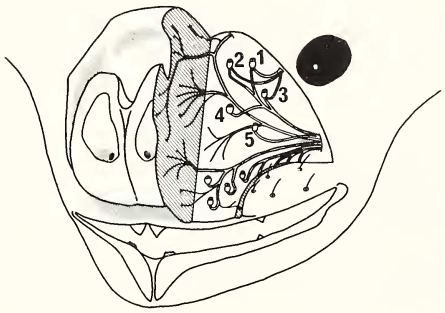

Abb. 2. Verlauf und Aufzweigung des Nervus infraorbitalis im Nasenaufsatz von *Desmodus.* 1–5 = Sinushaare des seitlichen Polsters

obere Grube und das obere Polster. Der Nerv zieht dabei direkt auf dem Knochen liegend nach dorsal, verläuft unter dem Boden der oberen Grube weiter und endet schließlich – nach einer Drehung um fast 180 Grad – im oberen Polster. Der vierte Anteil verläuft nach rostral und versorgt die Sinushaare im vordersten Teil der Lippe und im unteren Teil des Nasenblattes. Bündel 5 zieht in die rostro-lateralen Teile der Lippe.

In der Haut des Gesichtsbereiches finden sich zahlreiche freie Nervenendigungen, jedoch nur vereinzelt Rezeptoren, die aus Zellkomplexen bestehen. Die freien Nervenendigungen entspringen dicken subkutanen Nervenbündeln, die aus myelinisierten und unmyelinisierten Fasern bestehen. Der überwiegende Teil der myelinisierten Nerven zieht in die behaarten Hautregionen und innerviert hier die Haare und Drüsen sowie die Papillen des Coriums. Dabei ziehen Bündel aus etwa 5 bis 10 Fasern in Richtung Epidermis; in etwa 50 µm Tiefe verlieren sie ihre Myelinhülle und bilden verzweigte Nervenendigungen, die nur noch von einer Schwannzelle umhüllt sind (Abb. 3). Die Struktur der Verzweigungen gleicht den von Cauna (1976) beschriebenen papillären Endigungen soweit, daß ich diese

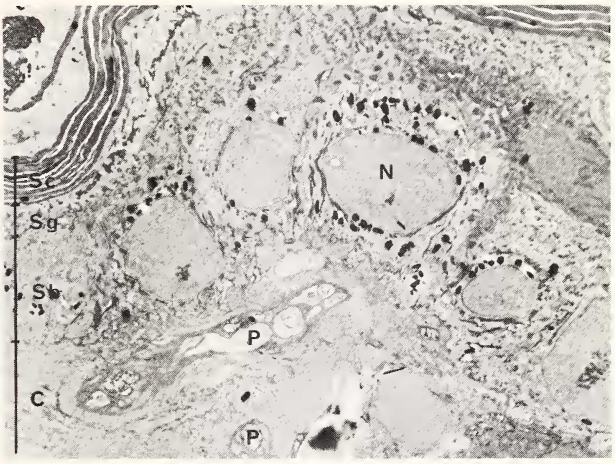

Abb. 3. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Kutis. Behaarte Haut des seitlichen Polsters (2700 ×); C = Corium; N = Nucleus einer Basalzelle; P = Papilläre Endigung; Sb = Stratum basale; Sc = Stratum corneum; Sg = Stratum granulosum

Bezeichnung übernehme. Einige der Ausläufer erreichen die Epidermis; an diesen Stellen verschmelzen die Basallaminae von Epidermis und Nerv. Auffallend viele papilläre Endigungen finden sich im äußeren Rand des zentralen Nasenblattes (Abb. 4).

Diese schmale Geweberegion wird von umfangreichen Bündeln aus myelinisierten Fasern versorgt, die sich dicht unter der Epidermis aufzweigen; die Konzentration an Nervenendigungen ist hier höher als in jeder anderen Region des Nasenaufsatzes. Im

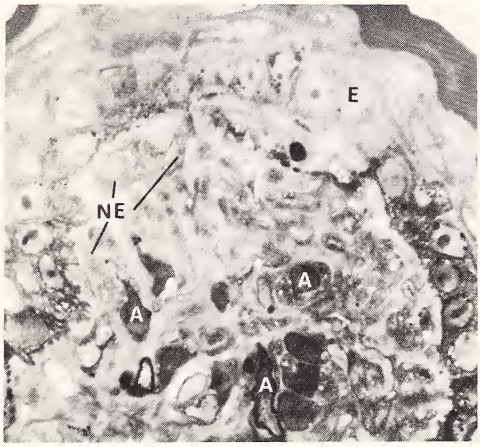

Abb. 4. Querschnitt durch den äußeren Rand des zentralen Nasenblattes (1000 ×). A = Axon; E = Epidermis; NE = Nervenendigungen

Corium der behaarten und der unbehaarten Hautregionen liegt ein Netzwerk aus unmyelinisierten Fasern. Es wird aus Nervensträngen gebildet, die von den umfangreichen subkutanen Bündeln abzweigen und in Richtung Epidermis ziehen. Diese Fasern verlaufen oft in engem Kontakt zu Blutgefäßen. Sie sind in eine Schwannzelle eingehüllt und werden zusätzlich von einem Perineurium umgeben. In einer Tiefe von etwa 50 bis 60 µm spalten sich die Stränge auf und bilden ein miteinander verbundenes Geflecht, das Ausläufer bis dicht unter das Stratum basale schickt. Hier verdünnen sich die Schwannzellen bis auf einen schmalen Saum. Das Faserende ist leicht verdickt und mit Mitochondrien, Neurofibrillen und Vesikeln angefüllt. Dieses unmyelinisierte Nervennetz kann in Anlehnung an Cauna (1976) als penizilläre Endigungen bezeichnet werden.

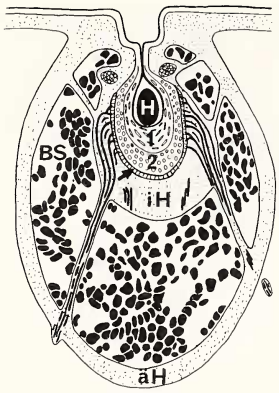

Abb. 5. Anatomie eines Sinushaares von *Desmodus* (schematisiert). äH = äußere Haarbalglamelle; BS = Blutsinus; H = Haarschaft; iH = innere Haarbalglamelle; 1 = innere Wurzelscheide; 2 = äußere Wurzelscheide; Pfeil = Zylinderzellschicht

Die Sinushaare besitzen einen ovalen Haarbalg, der etwa 1,0 × 0,6 mm mißt (Abb. 5). Die Schichtung der Kutis setzt sich in den Sinushaaren fort, wobei die Epidermis die Wurzelscheide und das Corium die Haarbalglamelle bildet. Diese umschließt mit einem inneren und einem äußeren Anteil den Blutsinus; Bindegewebsstränge verbinden beide Lamellen miteinander. In den basalen Strängen ziehen auch die Nervenbündel in Richtung Wurzelscheide. Sie treten in die innere Haarbalglamelle ein, ziehen nach apikal und bilden ein das ganze Haar umfassendes Geflecht. Im oberen Drittel des Haares liegen zwei Talgdrüsen, deren Ausführgänge in den Haarkanal münden. Die ausschließlich myelinisierten Fasern, von denen die Sinushaare innerviert werden, enden sukzessive in der inneren Haarbalglamelle (ca. 20 %) oder der äußersten Schicht der Wurzelscheide (ca. 80 %); diese entspricht dem epidermalen Stratum basale und wird auch als Zylinderzellschicht bezeichnet. Sie besteht aus nebeneinander liegenden Merkel'schen Zellkomplexen, die zwischen die Basalzellen eingebettet sind (Abb. 6). Die Fasern verlieren ihre Myelinscheide kurz vor dem Eintritt in die Zylinderzellschicht und zweigen sich dann noch weiter auf. Sie enden T-förmig in zwei flachen Nervenendigungen (Tastmenisken), die in Querschnitten durch das Sinushaar als schmale gebogene Scheiben erscheinen; diese Endigungen sind dicht mit Mitochondrien angefüllt. Zwischen den Tastmenisken und der Haarbalglamelle liegen Tastzellen, die über Synapsen mit der Nervenendigung in Kontakt stehen. Die Tastzellen sind gekennzeichnet durch einen schmalen gelappten Kern und eine Vielzahl membranumhüllter Vesikel. Über Zellausläufer und zahlreiche Desmosomen sind sie in der Zylinderzellschicht verankert. Schmale Ausläufer der Basalzellen bilden zusammen mit einer Basallamina den Abschluß der Wurzelscheide. Die Vesikel der Tastzellen stehen offenbar in einem funktionellen Zusammenhang mit den Synapsen, die Tastzelle und -meniskus miteinander verbinden; sie treten in deren Nachbarschaft gehäuft auf und können zum Teil auch an die präsynaptische Membran angelagert gefunden werden. In der inneren Haarbalglamelle finden sich Nervenfasern, die verzweigte Endstücke myelinisierter Fasern darstellen. Ihre Form ähnelt den papillären Endigungen des Coriums.

Elektrophysiologie

Der Nasenaufsatz von *Desmodus* ist dicht besetzt mit Rezeptoren, die auf mechanische Reize antworten. Sie befinden sich zum Teil in der Haut oder sind mit Haaren bzw. Sinushaaren assoziiert (Abb. 7). Die Rezeptoren reagieren in unterschiedlicher Weise auf einen mechanischen Reiz und können in langsam adaptierende und in schnell adaptierende Mechanorezeptoren unterteilt werden. Bei den langsam adaptierenden Rezeptoren, die ich im Nasenaufsatz von *Desmodus* fand, waren zwei Typen unterscheidbar. Der Typ I besitzt keine Spontanaktivität und eine unregelmäßige Entladung und ist nicht temperaturemp-

findlich. Der Typ II ist dagegen sowohl spontan aktiv als auch temperaturempfindlich und weist eine regelmäßige Entladung auf.

Rezeptoren des Typ I finden sich sowohl in der Haut als auch in den Sinushaaren des seitlichen Polsters und der Lippe. In der Haut registrierte ich 5 Rezeptoren; sie antworteten auf Druckreize, die senkrecht zur Oberfläche des rezeptiven Feldes einwirkten, mit einer phasisch-tonischen Erregung. Die Frequenz während beider Phasen ist dabei abhängig von der Stärke des Reizes (Abb. 8). Den gleichen Typ findet man auch in den Sinushaaren; während er in den Vibrissen auf der Lippe verhältnismäßig selten auftritt, kann man ihn in den 5 Sinushaaren des seitlichen Polsters in hoher Zahl antreffen (in Abb. 7 nicht dargestellt). Die Rezeptoren beantworten eine Auslenkung des Sinushaares aus der Ruhelage in eine spezifische Richtung mit einer phasisch-tonischen Erregung.

Rezeptoren des Typ II fand ich in der Haut des Nasenaufsatzes (n = 6) und in den Sinushaaren des seitlichen Polsters (n = 8); besonders häufig sind sie jedoch in den Vibrissen der Oberlippe. Sie besitzen eine Spontanaktivität, deren Frequenz zwischen 2 und 20 Impulsen pro Sekunde liegen kann. Auf einen Druckreiz antworten sie mit einer phasisch-tonischen Entladung, deren Frequenz – bei gleicher Druckstärke – höher liegt als beim Typ I. Nach Ende des Reizes kommt es zu einer vorübergehenden Hemmung der Aktivität; erst nach einigen Sekunden setzt die spontane Entladung wieder ein (Abb. 8). Auch die Rezeptoren des Typ II besitzen eine Richtcharakteristik; sie beantworten eine Auslenkung des Sinushaares innerhalb eines Winkels von 100 Grad.

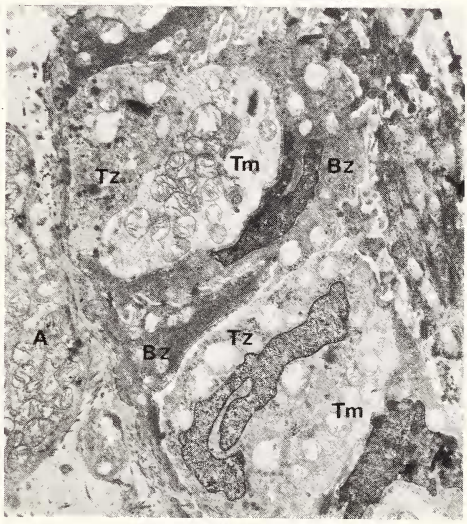

Abb. 6. Diagonalschnitt durch ein Sinushaar. *Oben:* Innere Haarbalglamelle und Wurzelscheide (720 ×). *Unten:* Vergrößerter Ausschnitt (siehe Rahmen); (5750 ×). A = Axon; B = Basalzellschicht; BS = Blutsinus; Bz = Basalzelle; IH = Innere Haarbalglamelle; M = Merkel'scher Zellkomplex; Tm = Tastmeniskus; Tz = Tastzelle

Schnell adaptierende Mechanorezeptoren fand ich besonders häufig in Verbindung mit Körperhaaren, daneben auch vereinzelt in der Haut und in Sinushaaren (Abb. 7). Sie reagierten auf eine Bewegung des Haares bzw. auf Druck auf die Hautoberfläche. Dabei beantwortet der Rezeptor nur die Anstiegs- und die Abfallflanke eines Druckreizes, nicht jedoch einen Dauerreiz. Meistens treten nur wenige Aktionspotentiale auf, die aber eine hohe Frequenz besitzen. Alle schnell adaptierenden Mechanorezeptoren sind außerordentlich empfindlich; schon geringste Bewegungen des Haares führen zu einer Impulssalve. Die Rezeptoren in der Haut können mit einem menschlichen Haar gereizt werden, das mit der Spitze auf das rezeptive Feld aufgesetzt wird Druck $< 0{,}02$ p).

Abb. 7. Schematisierter Nasenaufsatz von *Desmodus* (rechte Seite) mit rezeptiven Feldern der Mechanorezeptoren. Symbole im Umkreis der Sinushaare (S) geben Rezeptoren an, die mit diesen assoziiert sind. Kreise = Langsam adaptierende Rezeptoren des Typ I; Dreiecke = Langsam adaptierende Rezeptoren des Typ II; Quadrate = Schnell adaptierende Rezeptoren

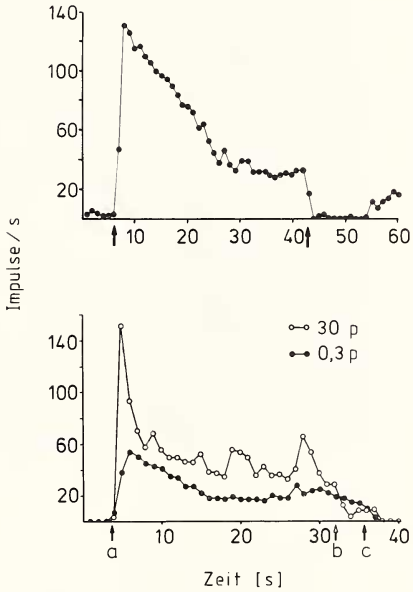

Abb. 8. Oben: Langsam adaptierender Mechanorezeptor des Typ II. Die Pfeile markieren Reizbeginn und -ende; Druck: 0,3 p. *Unten:* Langsam adaptierender Mechanorezeptor des Typ I; Antwort auf zwei Druckreize unterschiedlicher Stärke. Pfeil a = Reizbeginn 0,3 und 30 p; Pfeil b = Reizende 30 p; Pfeil c = Reizende 0,3 p

Diskussion

Der Nasenaufsatz von *Desmodus rotundus* unterscheidet sich erheblich von dem anderer Blattnasen-Fledermäuse. Äußerlich wird dies an der fehlenden Lanze und den ausgeprägten Nasengruben deutlich. Im Vergleich auch zu nah verwandten Fledermausarten zeigt der Nervus infraorbitalis einige Unterschiede in Verlauf und Bündelung (Kürten 1984). Besonders das mittlere Bündel seines dorsalen Anteils fällt durch Faserreichtum und ein ausgedehntes Projektionsareal auf.

Die Anatomie der Sinushaare entspricht den bisher bei Fledermäusen beschriebenen Verhältnissen (Goldschmid-Lange 1976) und unterscheidet sich deutlich von der anderer Säugetierordnungen. Im Vergleich etwa zu Nagern und Katzen wirkt ihr Aufbau vereinfacht und ähnelt mehr den Tasthaaren der Primaten. Es fehlen insbesondere die obere und untere Haarscheidenanschwellung, der Ringwulst, der spongiöse Sinus sowie die Glashaut (Schneider 1963; Goldschmid-Lange 1976). Meine anatomischen Ergebnisse zeigen,

daß auch ihre Ausstattung mit Rezeptoren sich von anderen Säugetieren unterscheidet (siehe ANDRES 1966; PATRIZI und MUNGER 1966); es fehlen zum Beispiel die sogenannten lanzettförmigen Endigungen. Dagegen treten in den Sinushaaren freie Nervenendigungen auf, wie MUNGER und HALATA (1983) sie bei Primaten beschrieben haben.

In elektrophysiologischen Versuchen an Ratten (ZUCKER und WELKER 1969) und Katzen (GOTTSCHALDT et al. 1973) konnten in den Sinushaaren mindestens vier Typen von Mechanorezeptoren beschrieben werden. Zwei von ihnen langsam adaptierend und entsprechend den von IGGO und MUIR (1969) sowie CHAMBERS et al. (1972) in der Haut gefundenen Rezeptoren. Darüber hinaus treten zwei Typen mit schneller Adaptation auf.

Die beiden langsam adaptierenden Rezeptoren, die ich in den Sinushaaren und in der Haut von *Desmodus* finden konnte, entsprechen weitgehend den als Typ I und Typ II bezeichneten Rezeptoren bei Katzen (GOTTSCHALDT et al. 1973). Allerdings ist bei *Desmodus* der Anteil der langsam adaptierenden Rezeptoren an der Gesamtzahl höher (90 % gegenüber 66 %). Die Rezeptoren des Typ II besitzen überdies eine Richtcharakteristik, während dies für Katzen nicht beschrieben ist. Zweifellos spielt die Einbettung der Rezeptoren in die Gewebsschichten der Sinushaare eine wichtige Rolle hinsichtlich der Erregung durch bestimmt Bewegungen des Haarschaftes (IGGO und GOTTSCHALDT 1974; IGGO 1976). Auf Grund der anatomischen Unterschiede zwischen den Sinushaaren bei *Desmodus* und denen anderer Säugetiere können daher die Unterschiede im Antwortverhalten nicht verwundern.

GOTTSCHALDT et al. (1973) wiesen darauf hin, daß die Mechanorezeptoren des Typ I auf Grund ihrer kurzen proportionalen Antwortphase dazu prädestiniert seien, schnelle und wechselnde Bewegungen des Sinushaares wahrzunehmen. Die langsame Adaptation und hohe Empfindlichkeit des Typ II sei dagegen eher für die Feststellung der Auslenkungsamplitude geeignet. Bei *Desmodus* überwiegt der Typ I in den Sinushaaren der seitlichen Polster, der Typ II tritt dagegen besonders häufig in den Sinushaaren der Oberlippe auf. Es ist möglich, daß die jeweiligen Gruppen von Sinushaaren unterschiedliche Funktionen erfüllen.

Vampirfledermäuse leben in großen Kolonien und in dunklen Quartieren. Der Tastsinn im Gesicht hat deshalb sicherlich eine wichtige Aufgabe bei sozialen Kontakten. Darüber hinaus besitzt er eine Funktion während des Nahrungserwerbs. Wenn eine Vampirfledermaus an einem Beutetier Blut leckt, bringt sie Teile des Gesichtes und die Sinushaare in engen Kontakt mit der Hautoberfläche der Beute (CRESPO et al. 1974; SCHMIDT 1978). Schon geringste Bewegungen dieses Tieres veranlassen die Fledermaus, sich mit einem Sprung aus der Gefahrenzone zu bringen. Der empfindliche Tastsinn ermöglicht so den Vampiren, einem Beutetier eine Wunde beizubringen, ohne Gefahr zu laufen, von diesem durch Abwehrbewegungen verletzt zu werden. Er stellt damit eine wichtige Voraussetzung für die sanguivore Lebensweise der Vampirfledermäuse dar.

Bei Nagern und Katzen dienen die Vibrissen als Tasthaare, mit denen die Tiere ihre direkte Umgebung auch im Dunkeln erkunden können (SCHMIDBERGER 1932). Ratten der Gattung *Sigmodon*, die in teilweise überschwemmten Gebieten leben, regulieren mit Hilfe der Sinushaare beim Schwimmen die Lage des Kopfes im Verhältnis zur Wasseroberfläche (AHL 1982). In Analogie dazu könnten die Sinushaare der Fledermäuse auch an der Wahrnehmung von Luftströmungen beteiligt sein. Schon MÖHRES (1953) diskutiert dies als eine mögliche Funktion des Nasenaufsatzes von *Rhinolophus ferrumequinum* (Rhinolophidae) und SCHNEIDER (1963) vermutet daran anknüpfend, daß die Sinushaare im Zusammenwirken mit Gruben im Nasenaufsatz diese Leistung vollbringen könnten. SYCH (1960) fand, daß *Myotis myotis* (Vespertilionidae) auf Luftströmungen reagieren kann; diese Art besitzt keinen Nasenaufsatz. Es erscheint daher durchaus möglich, daß die Vampirfledermäuse ihre Sinushaare auch dazu benutzen, die Strömungsrichtung der Luft während des Fluges wahrzunehmen; sie könnten diese Fähigkeit nutzen, um die Lage des Kopfes beim Fliegen zu regulieren. Dies deckt sich mit der Beobachtung, daß die

Kopfhaltung bei *Desmodus* und anderen Phyllostomatiden (*Carollia perspicillata:* eigene Beobachtungen; *Phyllostomus discolor:* G. Rother, mündl. Mittlg.) im Flug auffallend konstant ist.

Die Eigenschaften der freien Nervenendigungen in der Haut sind noch weitgehend ungeklärt (Iggo und Andres 1982). Cauna (1976) schreibt den penizillären und papillären Endigungen mechanosensible Funktion zu. Auch Nociceptoren (Perl 1984) und Thermorezeptoren (Hensel et al. 1974) sind als freie Nervenendigungen beschrieben worden. Bei *Desmodus* sind die papillären Endigungen besonders stark in dem äußeren Rand und dem Mittelgrat des zentralen Nasenblattes konzentriert. Elektrophysiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß sich in dieser Region die rezeptiven Felder zahlreicher Warm- und Kaltrezeptoren befinden (Kürten et al. 1984). Die hohe Dichte der Nervenstrukturen verhindert die eindeutige Zuordnung der rezeptiven Felder zu einzelnen Nervenendigungen. Offensichtlich besteht die Innervation der Haut aus einem Mosaik übereinander und nebeneinander liegender Rezeptoren mit unterschiedlicher Charakteristik, die sich möglicherweise nur in ultrastrukturellen Details unterscheiden (siehe auch Munger und Halata 1983).

Die zahlreichen Mechanorezeptoren in den Körperhaaren, den Sinushaaren und in der Haut machen die gesamte Nasenregion von *Desmodus* zu einem empfindlichen Tastorgan. Diese Funktion wird ergänzt durch die Thermorezeptoren, die im zentralen Nasenblatt konzentriert sind; sie versetzen die Vampirfledermäuse in die Lage, Infrarotstrahlung oberhalb einer Strahlungsdichte von 5×10^{-5} W cm^{-2} wahrzunehmen (Kürten und Schmidt 1982a). Damit konnte erstmals bei einer Blattnasen-Fledermaus dem Nasenaufsatz eine Funktion zugeschrieben werden. Seine sensorische Ausstattung spielt offensichtlich bei der Orientierung der Tiere eine wichtige Rolle. Eine ähnliche Bedeutung kann auch für andere Phyllostomatiden angenommen werden, die zum Teil weit auffälligere Strukturen in der Nasenregion besitzen.

Danksagungen

Herrn Professor Dr. Uwe Schmidt danke ich für finanzielle Unterstützung, für seine Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Herr Professor Dr. Herbert Hensel erlaubte mir freundlicherweise, Versuche im Physiologischen Institut der Universität Marburg durchzuführen. Für die Anleitung bei den verschiedenen Methoden danke ich Herrn Dr. K. Schäfer, Universität Hohenheim, sowie Herrn Professor Dr. V. Bruns und Herrn W. Hofer, Universität Frankfurt. Die Arbeit wurde durch Mittel der Konrad-Adenauer-Stiftung unterstützt.

Zusammenfassung

Bei der Vampirfledermaus *Desmodus rotundus* wurden die Mechanorezeptoren in der Haut und den Sinushaaren der Gesichtsregion anatomisch untersucht und ihre physiologischen Eigenschaften durch Ableitungen vom Nervus infraorbitalis beschrieben. Die Sinushaare unterscheiden sich im Bau und in der sensorischen Ausstattung von denen anderer Säugetiere. In der Haut des Nasenaufsatzes finden sich zahlreiche Mechanorezeptoren. Sie machen ihn zusammen mit den Sinushaaren zu einem empfindlichen Tastorgan. Seine Funktion bei der Orientierung und der Nahrungssuche der Vampirfledermäuse wird diskutiert.

Literatur

Ahl, A. S. (1982): Evidence for use of vibrissae in swimming in *Sigmodon fulviventer*. Anim. Behav. **30**, 1203–1206.

Andres, K. H. (1966): Über die Feinstruktur der Rezeptoren an Sinushaaren. Z. Zellforschung **75**, 339–365.

Cauna, N. (1976): Morphological basis of sensation in hairy skin. In: Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Ed. by A. Iggo and O. B. Ilyinsky. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier. Pp. 34–45.

Chambers, M. R.; Andres, K. H.; Düring, M. von; Iggo, A. (1972): The structure and function of the slowly adapting type II mechanoreceptors in hairy skin. Quart. J. Exp. Physiol. **57**, 417–445.

Crespo, R. F.; Fernandez, S. S.; Burns, R. F.; Mitchell, G. C. (1974): Observaciones sobre el comportamiento del vampiro comun *(Desmodus rotundus)* al alimentarse en condicionas naturales. Tecn. Pecuaria Mexico **27**, 39–45.

Goldschmid-Lange, U. (1976): Über die morphologischen Unterschiede im Bau der facialen Vibrissen einiger Säugetierarten. Zool. Anz. **196**, 417–427.
Gottschaldt, K.-M.; Iggo, A.; Young, D. W. (1973): Functional characteristics of mechanoreceptors in sinus hair follicles of the cat. J. Physiol. (London) **235**, 287–315.
Hensel, H.; Andres, K. H.; Düring, M. von (1974): Structure and function of cold receptors. Pflüg. Arch. **352**, 1–10.
Iggo, A. (1976): Is the physiology of cutaneous receptors determined by morphology? In: Somatosensory and visceral receptor mechanisms. Ed. by. A. Iggo and O. B. Ilyinsky. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier. Pp. 15–31.
Iggo, A.; Andres, K. H. (1982): Morphology of cutaneous receptors. Ann. Rev. Neurosci. **5**, 1–32.
Iggo, A.; Gottschaldt, K.-M. (1974): Cutaneous mechanoreceptors in simple and complex structures. In: Symposium Mechanoreception. Ed. by. J. Schwartzkopff. Opladen: Westdeutscher Verlag. Pp. 153–174.
Iggo, A.; Muir, A. R. (1969): The structure and function of a slowly-adapting touch corpuscle in hairy skin. J. Physiol. (London) **200**, 763–796.
Kürten, L. (1984): Vergleichende Untersuchungen zur Anatomie und Physiologie des Tast- und Wärmesinnes im Nasenaufsatz der Vampirfledermaus *Desmodus rotundus.* Diss. Bonn.
Kürten, L.; Schmidt, U. (1982a): Thermoperception in the common vampire bat *(Desmodus rotundus).* J. Comp. Physiol. **146**, 223–228.
Kürten, L.; Schmidt, U. (1982b): Die Nasengruben der Vampirfledermaus *Desmodus rotundus*: Sinnesorgane zur Wahrnehmung von Wärmestrahlung. Z. Säugetierkunde **47**, 193–197.
Kürten, L.; Schmidt, U.; Schäfer, K. (1984): Warm and cold receptors in the nose of the vampire bat *Desmodus rotundus.* Naturwissenschaften **71**, 327–328.
Möhres, F. P. (1953): Über die Ultraschallorientierung der Hufeisennasen (Chiroptera – Rhinolophinae). Z. vergl. Physiol. **34**, 547–588.
Munger, B. L.; Halata, Z. (1983): The sensory innervation of primate facial skin, I. Hairy skin. Brain Res. Rev. **5**, 45–80.
Patrizi, G.; Munger, B. L. (1966): The ultrastructure and innervation of rat vibrissae. J. Comp. Neurol. **126**, 423–425.
Perl, E. R. (1984): Characterization of nociceptors and their activation of neurons in the superficial dorsal horn. In: Neural mechanisms of pain, Advances in pain research and therapy. Ed. by L. Kruger and J. C. Liebeskind. New York: Raven Press. Vol. **6**, 23–52.
Schmidberger, G. (1932): Über die Bedeutung der Schnurrhaare bei Katzen. Z. vergl. Physiol. **17**, 387–407.
Schmidt, U. (1978): Vampirfledermäuse. Wittenberg-Lutherstadt: Ziemsen.
Schneider, H. (1963): Die Sinushaare der Großen Hufeisennase *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774). Z. Säugetierkunde **28**, 342–349.
Sych, L. (1960): Sensitivity of the large mouse-eared bat *Myotis myotis* (Borkhausen) to air currents in laboratory conditions. Folia Biol. **8**, 135–147.
Zucker, E.; Welker, W. (1969): Coding of somatic sensory input by vibrissae neurons in the rat's trigeminal ganglion. Brain Res. 12, 138–156.

Anschrift des Verfassers: Dr. Ludwig Kürten, Zoologisches Institut der Universität Bonn, Poppelsdorfer Schloß, D-5300 Bonn 1

Food digestibility and water requirements in the Djungarian hamster *Phodopus sungorus*

By B. Schierwater and H. Klingel

Receipt of Ms. 27. 9. 1984

Abstract

Studying the digestibility of a defined food mixture and the effects of negative water balance, very high digestion coefficients and a remarkable resistance against reduced water intake were found in the Djungarian hamster. Coefficients of digestibility were determined as 90.6 % for dry matter, 91.2 % for carbon, 80.2 % for crude protein and 91.9 % for energy. Assimilation level was estimated as 88.4 % of

U.S. Copyright Clearance Center Code Statement: 0044-3468/85/5001-0035 $ 02.50/0
Z. Säugetierkunde 50 (1985) 35–39
© 1985 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
ISSN 0044-3468 / InterCode: ZSAEA 7